

## Beschreibung

Verfahren zur Herstellung eines keramischen Körpers mit einem integrierten passiven elektronischen Bauelement, derartiger  
5 Körper und Verwendung des Körpers

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines keramischen Körpers mit einem monolithischen Mehrschichtaufbau. Dabei wird im Volumen des Körpers mindestens ein passives elektronisches Bauelement integriert. Darüber hinaus wird  
10 ein derartiger Körper vorgestellt und eine Verwendung des Körpers angegeben.

In der Elektronik wird nach höchstmöglicher Miniaturisierung gestrebt. Dies trifft insbesondere auf die Mobilfunktechnik zu. Ziel dabei ist es, möglichst viele elektronische Bauteile auf möglichst kleinem Raum zu vereinen. Solche Bauteile können beispielsweise sehr komplexe Hochfrequenzmodule bis hin zu kompletten Funkteilen sein.  
15

Im Hinblick auf die Miniaturisierung haben sich Substrate in Form keramischer Körper mit monolithischem Mehrschichtaufbau besonders bewährt. Mit Hilfe spezieller Herstellungsverfahren ist es möglich, ein passives Bauelement wie beispielsweise  
20 eine Induktivität, einen Kondensator oder einen Widerstand im Volumen eines keramischen Körpers zu integrieren. Auf diese Weise wird heute eine Reihe von Erzeugnissen gefertigt. Dazu zählen beispielsweise keramische Multichip-Module (MCM-C), einfache Hochfrequenzkomponenten wie LC-Filter und RLC-Netzwerke.  
25  
30

Ein spezielles Verfahren zur Herstellung eines keramischen Körpers mit monolithischem Mehrschichtaufbau stützt sich auf die LTCC (low temperature cofired ceramic)-Technologie (siehe  
35 z.B. D.L. Wilcox et al., Proc. 1997 ISHM Philadelphia, S. 17-23)

Die wesentlichen Verfahrensschritte dieser Technologie sind:

- Herstellen einer einen organischen Binder enthaltenden keramischen Grünfolie.
- 5 • Erzeugen einer Öffnung in der Grünfolie, die für eine elektrischen Durchkontaktierung durch die Grünfolie gedacht ist.
- Befüllen der Öffnung mit elektrisch leitendem Material.
- Bedrucken der Grünfolie mit einer elektrischen Leiterstruktur.
- 10 • Übereinanderstapeln und Laminieren dieser Grünfolie und zumindest einer weiteren zu einem Verbund.
- Entbindern und Sintern des Verbunds zu einem Körper mit monolithischem Mehrschichtaufbau.

15

Als keramisches Material dient dabei niedrig sinternde Glas-keramik. Die Oberfläche eines auf die beschriebene Weise erhaltenen keramischen Körpers ist so gestaltet, daß aktive Bauelemente wie beispielsweise SMD-Bauelemente oder ICs (Halbleiterbauelemente) möglichst platz sparend angebracht werden können. Für das Anbringen der aktiven Bauelemente gewinnt die Flip-Chip - Technik mehr und mehr an Bedeutung. Voraussetzung für die Anwendung dieser Technik ist höchste Präzision und Reproduzierbarkeit der Leiter- und Padstrukturen auf der Oberfläche des Körpers. Im Hinblick auf eine hohe Prozeßsicherheit dieser Technik und eine hohe Qualität eines damit hergestellten Bauteils ist eine Bauteiletoleranz von  $\pm 0,1\%$  notwendig.

20

25

30 Im der herkömmlichen LTCC-Technologie tritt durch das Verdichten des keramischen Materials beim Sintervorgang ein lateraler Schwund von 15-18% mit einer Toleranz von  $\pm 0,5\%$  auf. Würde man diese Technologie oder ein ähnliches Verfahren in bekannter Weise zur Herstellung eines keramischen Körpers einsetzen, wäre der Körper für die Weiterverarbeitung in der

35 Flip-Chip - Technik nur bedingt geeignet. Um die für diese Technik geforderte Bauteiletoleranz von  $\pm 0,1\%$  einzuhalten,

muß der laterale Schwund des keramischen Materials beim Sintervorgang unterdrückt werden. D.h. es muß ein gerichtetes Verdichten der Keramik senkrecht zu den Folienebenen erzwungen werden (= zero xy shrinkage).

5

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, beim Sintern den lateralen Schwund eines laminierten und entbinderten Stapels aus keramischen Grünfolien zu unterbinden. Beim Sintern wird beispielsweise ein hoher einachsiger Druck auf den Folienstapel ausgeübt. Dies erfordert allerdings einen relativ hohen technischen Aufwand.

Eine im Vergleich dazu wesentlich elegantere Methode besteht darin, die Grünfolien so zu stapeln, daß die oberste und die unterste Folie ein Keramikmaterial aufweisen, dessen Sinter-  
temperatur über der des Keramikmaterials der im Stapel dazwischen liegenden Folien liegt. Die Sinterung erfolgt so, daß das bei tieferer Temperatur sinternde Keramikmaterial der inneren Folien verdichtet, nicht jedoch das bei höherer Temperatur sinternde Material der äußeren Folien. Das nicht verdichtende Material verhindert durch die Haftung der laminierten Folien aneinander den lateralen Schwund des Folienstapels. Das nicht verdichtete Keramikmaterial des Körpers wird nach dem Sintern entfernt. Darauf folgend müssen in zusätzlichen Arbeitsschritten wieder Metallisierungen an der Oberfläche des Körpers für die Weiterverarbeitung (z.B. Flip-Chip - Technik) angebracht werden.

Um eine möglichst hohe Miniaturisierung zu erreichen, ist es wünschenswert, wenn alle wesentlichen Funktionen der Bauteile in dem als Substrat fungierenden Körper integriert sind. Dies kann z.B. gleiche Bauelemente betreffen, die aber jeweils eine entgegengesetzte Spezifikationen erfüllen. Beispielsweise sollen in einem einzigen Substrat gleichzeitig eine sehr hohe und eine sehr niedrige Induktivität enthalten sein. Ein herkömmlicher keramischer Körper erfüllt solche Wünsche nur in einem extrem begrenzten Rahmen.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zur Herstellung eines keramischen Körpers mit monolithischem Mehrschichtaufbau anzugeben, der über eine sehr geringe laterale Toleranz verfügt.

Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren zur Herstellung eines keramischen Körpers, der einen monolithischen Mehrschichtaufbau aufweist und mindestens ein passives elektronisches Bauelement enthält, gelöst, das folgende Verfahrensschritte aufweist:

- Herstellen einer einen Binder enthaltenden Grünfolie,
- Übereinanderstapeln mindestens einer Grünfolie, die ein Keramikmaterial aufweist, das in einem ersten Temperaturintervall verdichtet, und mindestens einer Grünfolie, die ein Keramikmaterial aufweist, das in einem vom ersten Temperaturintervall verschiedenen Temperaturintervall verdichtet, zu einem Stapel,
- Laminieren des Stapels zu einem Verbund,
- Entbindern des Verbunds bei einer erhöhten Temperatur,
- Sintern des Verbunds bei einer Temperatur des ersten Temperaturintervalls, bis das Keramikmaterial, das in diesem Temperaturintervall verdichtet, weitgehend verdichtet ist, und
- Sintern des Verbunds bei einer Temperatur des vom ersten Temperaturintervall verschiedenen Temperaturintervalls, bis das Keramikmaterial, das in dem vom ersten Temperaturintervall verschiedenen Temperaturintervall verdichtet, weitgehend verdichtet ist.

Ein keramischer Körper mit einem monolithischen Mehrschichtaufbau zeichnet sich dadurch aus, daß die keramischen Schichten des Körpers fest miteinander verbunden sind und eine Einheit bilden. Einzelne Schichten können dabei auch aus einem nichtkeramischen Material bestehen (z.B. Metall). Um einen monolithischen Körper zu erhalten, wird in der Regel ein Sta-

pel aus keramischen Grünfolien und Metallfolien einem Sinterprozeß unterworfen.

5 Unter einem passiven elektronischen Bauelement ist im einfachsten Fall eine elektrische Leiterbahn zu verstehen. Es kann eine Induktivität, eine Kapazität oder ein Widerstand (z.B. auch Varistor) sein. Die Bauelemente können einzeln oder in Kombination miteinander auftreten und insbesondere Bestandteile einer elektrischen Schaltung sein. Ein Bauelement besteht beispielsweise aus einem Metall, einem Halbmetall und/oder einem Festelektrolyten.

15 Die Grundidee der Erfindung besteht darin, einen mehrstufigen Sinterprozeß zur Herstellung eines keramischen Körpers anzuwenden. Dabei wird das in der Einleitung beschriebene Verfahren zur Vermeidung eines lateralen Schwunds modifiziert. Im Gegensatz zur herkömmlichen Vorgehensweise wird nach dem Sintern keine Keramikschrift entfernt. Vielmehr wird in jeder Schicht ein Bauelement integriert. D.h., jede Keramikschrift wird zum Aufbau eines Körpers mit einer mehr oder weniger großen Anzahl an elektronischen Bauelementen genutzt. Durch die Auswahl der Keramikmaterialien (z.B. mit unterschiedlichen Dielektrizitätskonstanten) gelingt es auf diese Weise, unterschiedlichste passive Bauelemente in einem monolithischen keramischen Körper zu vereinen. Außerdem fallen zusätzliche Verfahrensschritte für das Abtragen von Keramikmaterial und unter Umständen das Anbringen von Leiter- bzw. Padstrukturen auf der Oberfläche des Körpers weg.

30 Die Herstellung einer keramischen Grünfolie erfolgt in bekannter Weise. Die Dicke einer Grünfolie umfaßt beispielsweise 50  $\mu\text{m}$  bis 200  $\mu\text{m}$ . Als keramisches Material kommt vorzugsweise niedrig sinternde Glaskeramik in Frage. Das keramische Material, das auch als glaskeramisches Komposit bezeichnet wird, enthält beispielsweise Aluminiumoxid, Boroxid oder Erdalkalioxide. Durch Schneiden oder Stanzen wird die Grünfolie auf die gewünschte Form zugeschnitten. Diese kann bei-

spielsweise direkt die laterale Form des keramischen Körpers sein.

5 Zur Herstellung einer keramischen Grünfolie zählt auch die  
Strukturierung der Grünfolie. In einer Grünfolie wird bei-  
spielsweise mindestens eine durch die Grünfolie hindurchge-  
hende Öffnung für eine elektrische Durchkontaktierung (via-  
hole) erzeugt. Dies gelingt besonders einfach durch Stanzen.  
Ein anderes Verfahren zur Strukturierung einer Grünfolien wie  
10 beispielsweise eine Photolithographie oder das Erzeugen einer  
Öffnung mit Hilfe einer Laserstrahlung kann ebenso angewendet  
werden.

15 Neben den Öffnungen, die für die Integration eines Bauele-  
ments notwendig sind, ist es vorteilhaft, zusätzliche Löcher  
in einer Grünfolie zu erzeugen, mit deren Hilfe die Herstel-  
lung des keramischen Körpers erheblich vereinfacht wird. Be-  
sonders vorteilhaft ist es, im Nutzen (multi up) einer Grün-  
folie eine Lochstruktur zu erzeugen, mit deren Hilfe mehrere  
20 Teilbereiche der Grünfolie voneinander getrennt werden kön-  
nen. Unter Nutzen wird in diesem Zusammenhang ein flächiger  
Körper verstanden, der mehrere identisch strukturierte Teil-  
bereiche aufweist. Die Fläche eines Nutzens beträgt bei-  
spielsweise  $300 \times 300 \text{ mm}^2$ . Auf ihr können z.B.  $n^2$  identische  
25 Teilbereiche vorliegen ( $n \times n$  - Nutzen). Mit Hilfe der Loch-  
struktur, die alle übereinander gestapelten Grünfolien auf-  
weisen, kann ein Körper aus dem Nutzen der gesinterten Grün-  
folien durch Herausbrechen leicht vereinzelt werden.

30 In einem weiteren Verfahrensschritt wird mindestens eine Me-  
tallisierung an einer Oberfläche einer Grünfolie angebracht.  
Dazu wird vorzugsweise im Siebdruckverfahren elektrisch lei-  
tendes Material beispielsweise in Form einer Leiterstruktur  
auf einer Oberfläche der Grünfolie aufgetragen. Auf diese  
35 Weise läßt sich eine sehr feine Leiterstruktur herstellen.  
Die Breite einer Leiterbahn beträgt beispielsweise  $80 \mu\text{m}$  und  
der Abstand von Leiterbahn zu Leiterbahn ebenfalls  $80 \mu\text{m}$ .

In dieser Herstellungsphase einer Grünfolie werden auch die Öffnungen für die Durchkontaktierungen mit einem elektrisch leitenden Material befüllt. Dabei bietet sich besonders das  
5 Schablonendruckverfahren an. Siebdruck und Schablonendruck werden vorzugsweise in der gleichen Vorrichtung durchgeführt.

Für eine Leiterstruktur und eine elektrische Durchkontaktierung wird beispielsweise eine Metallpaste verarbeitet. Ein  
10 Widerstand läßt sich besonders einfach durch die Verarbeitung einer mitsinterbaren Widerstandspaste integrieren.

Durch die Verwendung einer niedrig sinternden Glaskeramik kann insbesondere hoch leitfähiges Silber oder Kupfer verarbeitet werden. In einer Dickschichttechnik (z.B. Siebdruck-  
15 technik) kann dadurch eine hinreichend dicke, hoch leitende Leiterbahnen realisiert werden, die auch bei einer Frequenz von 1 GHz (Skintiefe = 3  $\mu\text{m}$ ) nur einen sehr niedrigen Leitungsverlust aufweist.

20 Im nächsten Verfahrensschritt werden die keramischen Grünfolien übereinander gestapelt. Dabei werden Grünfolien verwendet, die verschiedenes Keramikmaterial enthalten.

25 Die Auswahl des Keramikmaterials einer Grünfolie erfolgt nach der Funktion, die mit Hilfe dieser Grünfolie in das Substrat integriert werden soll. Daneben sind die Sintereigenschaften der Keramikmaterialien der verschiedenen Grünfolien von entscheidender Bedeutung. Es müssen mindestens zwei Materialien  
30 verwendet werden, die sich mindestens durch das jeweils zur Verdichtung notwendige Temperaturintervall voneinander unterscheiden. Das erste Temperaturintervall und das vom ersten verschiedene Temperaturintervall sind vorzugsweise getrennt. Es tritt kein Temperaturbereich auf, in dem gleichzeitig das  
35 erste Keramikmaterial und das vom ersten verschiedene Keramikmaterial verdichtet. Damit kann ein mehrstufiger Sinterprozeß so gestaltet werden, daß die Schwindung eines ersten

Keramikmaterials bereits abgeschlossen ist, bevor die Schwindung eines zweiten Keramikmaterials einsetzt.

5 Neben den Grünfolien, die die beiden Keramikmaterialien enthalten, können sehr leicht weitere Grünfolien eingebaut werden, die ein Keramikmaterial enthalten, das sich vom ersten und zweiten Keramikmaterial unterscheidet. An die Sintercharakteristik dieses Materials wird nur die Anforderung gestellt, daß die Verdichtung des Materials nach dem zumindest  
10 zweistufigen Sinterprozeß abgeschlossen ist.

Generell ist zu beachten, daß die Auswahl eines Keramikmaterials im Hinblick auf das verwendete Metall bzw. die verwendeten Metalle zugeschnitten ist. Wenn beispielsweise  
15 hochleitfähiges Kupfer in den Körper eingearbeitet wird, muß die Verdichtung des keramischen Materials bei 950°C abgeschlossen sein. Für Silber liegt die Grenze bei 900°C. Bei der Verwendung von Kupfer muß darüber hinaus gewährleistet sein, daß die Verdichtung des keramischen Materials unter reduzierenden Bedingungen erfolgen kann.  
20

Besonders wichtig ist, daß der aus verschiedenen Materialien hergestellte Körper nach der Sinterung frei von mechanischer Spannung ist und sich beispielsweise nach dem Abkühlen nicht  
25 verbiegt. Ebenso ist es wichtig, daß im Betrieb des Körpers keine unerwünschte temperaturbedingte Spannung auftritt. Es ist daher vorteilhaft, wenn mehrere Keramikmaterialien in einem bestimmten Temperaturbereich einen im wesentlichen gleichen thermischen Ausdehnungskoeffizienten aufweisen. Das bedeutet, daß zumindest in den angesprochenen Temperaturberei-  
30 chen eine mechanische Spannung aufgrund einer unterschiedlichen thermischen Ausdehnung der verschiedenen Materialien so weit unterdrückt ist, daß die Funktionalität des keramischen Körpers erhalten bleibt. Der thermische Ausdehnungskoeffizient einer Glaskeramik kann durch die Art und die Menge einer  
35 Glaskomponente geregelt werden. So kann das thermische Ausdehnungsverhalten der verschiedenen Keramikmaterialien auf-



- einander abgestimmt werden. Von besonderem Vorteil ist es, wenn der thermische Ausdehnungskoeffizient eines Keramikmaterials bei der Betriebstemperatur des Körpers bei etwa 6-7 ppm/K liegt. Damit liegt eine sehr gute thermische Anpassung an ein Halbleitermaterial wie Silizium oder Galliumarsenid vor. Ein aktives elektronisches Bauelement (z.B. integrierter Schaltkreis), das auf der Oberfläche des keramischen Körpers angebracht ist und zusammen mit dem Körper eine funktionelle Einheit (elektrisches Bauteil) bildet, weist beispielsweise ein solches Halbleitermaterial auf. Ein elektrisches Bauteil mit der genannten Spezifikation läßt sich in einem weiten Temperaturbereich einsetzen. Dies ist beispielsweise im Hinblick auf eine Anwendung des elektrischen Bauteils im Automobilbereich wichtig. Ein herkömmliches polymeres Substrat zeigt im Vergleich dazu ein deutlich anderes thermisches Ausdehnungsverhalten als ein Silizium-IC. Einem vergleichbaren polymeren Substrat sind deshalb engere Grenzen in der Anwendbarkeit gesetzt als einem keramischen Substrat.
- Das Stapeln der Grünfolien erfolgt vorzugsweise so, daß sich bezüglich der unterschiedlichen Keramikmaterialien ein annähernd symmetrischer Folienstapel mit einer Symmetrieebene parallel zu den Folien ergibt. Durch diese Maßnahme wird beim Sintervorgang ein gleichmäßiges Schwinden begünstigt und die Bauteiletoleranz reduziert.

Darüber hinaus kann es vorteilhaft sein, eine Grünfolie im Stapel anzuordnen, die nur für die schwindungsfreie Herstellung des Körpers gebraucht wird. Die aus dieser Grünfolie hervorgehende Keramikschicht kann elektronisch unwirksam sein.

Im Stapel der Grünfolien wird bevorzugt mindestens eine Schicht angeordnet, die aus einem Elektrodenmaterial besteht. Diese Schicht kann beispielsweise eine strukturierte Metallfolie sein. Die Verwendung einer Metallfolie ist deshalb möglich, da in einer solchen Folie keine laterale Schwindung

auftritt. Eine Metallfolie hat den Vorteil, daß sie im Vergleich zu einer Metallpaste einen geringeren elektrischen Widerstand hat (Faktor 2 - 3). Eine Metallfolie wird beispielsweise durch Stanzen und/oder Ätzen strukturiert.

5

Nach dem Stapeln und Laminieren der Grünfolien (und Schichten aus Elektrodenmaterial) zu einem Verbund erfolgt die gemeinsame Entbinderung des Verbundes. Dies geschieht beispielsweise durch langsame Temperaturerhöhung auf 500°C. Das Laminieren erfolgt beispielsweise unter einem einachsigen oder isostatischen Druck.

Nach der Entbinderung wird der Verbund in mindestens zwei Stufen gesintert. Zunächst wird bei tieferer Temperatur die Verdichtung eines ersten Keramikmaterials vorangetrieben. Ein bei dieser Temperatur nicht verdichtendes zweites Keramikmaterial verhindert durch die Haftung der laminierten Folien aneinander den lateralen Schwund. Es findet nur eine Verdichtung senkrecht zu den Folienebenen statt. Wenn die Verdichtung des ersten Keramikmaterials abgeschlossen ist, wird die Temperatur auf die Sintertemperatur des zweiten Keramikmaterials erhöht. Das nun nicht weiter verdichtende erste Keramikmaterial verhindert seinerseits den lateralen Schwund des zweiten Keramikmaterials. Dadurch gelingt es, den unterschiedlichen Verdichtungsverlauf der verschiedenen Materialien über die Verdichtung in Dickenrichtung einer Folie zu entkoppeln. Durch diese Entkopplung ist eine gezielte Anpassung der Sintercharakteristik der verschiedenen Keramikmaterialien für eine gemeinsame Sinterung nicht nötig.

Für die Unterdrückung des lateralen Schunds spielt das Mengenverhältnis zwischen sinterndem und nicht sinterndem Material eine Rolle. Günstigerweise ist dieses Verhältnis kleiner oder gleich vier.

Es kann zusätzlich mindestens eine weitere Grünfolie verarbeitet werden, die ein weiteres Keramikmaterial aufweist, bei dem die Verdichtung in einem Temperaturintervall stattfindet,

das sich vom ersten und vom zweiten Temperaturintervall unterscheidet. Dabei kann es durchaus sein, daß dieses Temperaturintervall mit dem ersten und/oder dem zweiten Temperaturintervall überlappt. Entscheidend ist, daß das Übereinanderstapeln so erfolgt, daß in jeder Phase des Sinterns durch nicht sinternde Keramikschichten die laterale Schwindung des Verbunds unterdrückt ist.

Das Verfahren eignet sich insbesondere dazu, den keramischen Körper mit einem Träger, beispielsweise einem Metallkörper, fest zu verbinden. Dazu werden in dem mehrstufigen Sinterprozeß die Grünfolien bevorzugt direkt auf einem Träger aufgesintert. Der Träger kann ein Metallkörper sein, der im Betrieb des keramischen Körpers beispielsweise als Kühlkörper fungiert.

Das Übereinanderstapeln, Laminieren, Entbindern und/oder Sintern erfolgt vorzugsweise in einer Matrize mit den äußeren Abmessungen des Körpers oder des Nutzens, aus dem mehrere Körper hergestellt werden. Die Matrize besteht aus einem Material, das eine sehr gute Wärmeleitfähigkeit und gleichzeitig geringes Haftungsvermögen bezüglich des keramischen Körpers aufweist. Das Material der Matrize umfaßt vorzugsweise Siliziumkarbid.

Werden mehrere keramische Körper im Nutzen hergestellt, so erfolgt nach dem Sintern die Vereinzelung der Körper. Dies kann durch Sägen erfolgen. Besonders einfach gelingt das Vereinzeln, wenn ein Körper entlang einer oben beschriebenen Lochstruktur aus einem Nutzen herausgebrochen wird. Das Herausbrechen gelingt auch dann, wenn im Nutzen eine Metallfolie verarbeitet wird. Dazu wird die Metallfolie vor dem Übereinanderstapeln ebenfalls mit einer Lochstruktur versehen. Diese Lochstruktur ist gegenüber der Lochstruktur einer keramischen Grünfolien seitlich versetzt ist, so daß beim Übereinanderstapeln ein Metallsteg, der sich zwischen zwei Löchern einer Metallfolie befindet, und einem Loch einer Grünfolie überein-

ander zu liegen kommen. Dieser Metallsteg kann nach dem Sintern beispielsweise durch Ätzen entfernt werden. Wenn beispielsweise eine Metallfolie aus Silber verarbeitet wird, bietet sich zum Wegätzen eines Metallstegs ein Gemisch aus Wasserstoffperoxid und Ammoniak an. Im Körper bleiben auf diese Weise nur mehr keramische Stege übrig, die zur Vereinzelung eines Körpers leicht gebrochen werden können. Diese Vorgehensweise eignet sich nicht nur zur Vereinfachung der Vereinzelung eines fertigen keramischen Körpers. Dadurch, daß nach dem Sintern ein vorhandener Metallsteg einer Metallfolie entfernt wird, entsteht unter Umständen erst ein funktionsfähiges integriertes passives Bauelement.

Vor oder nach dem Vereinzeln ist es unter Umständen nötig, auf der Oberfläche des keramischen Körpers elektrisch leitendes Material anzubringen. Dazu eignet sich wie oben beschrieben ein Siebdruckverfahren mit einem angegebenen Material.

Durch die Erfindung wird ein neuartiger keramischen Körper abgedeckt, der einen monolithischen Mehrschichtaufbau aufweist, enthaltend mindestens ein passives elektronisches Bauelement, mindestens eine Schicht aus einem Keramikmaterial, das in einem ersten Temperaturintervall verdichtet und mindestens eine Schicht aus einem Keramikmaterial, das in einem vom ersten Temperaturintervall verschiedenen Temperaturintervall verdichtet.

Im keramischen Körper ist ein passives elektronisches Bauelement beispielsweise in Form einer Induktivität und einer Kapazität mit einem niedrigen Wert. Vor allem ein kompakter Entkopplungskondensator mit einem Kapazitätswert zwischen 30 pF und 3 nF kann realisiert sein. Kompakte Leitungsstrukturen wie Strip-Lines oder Tri-Plates mit hoher Güte für einen Resonator, Koppler und Bandpaßfilter zählen ebenfalls dazu. Als weitere Beispiele sind eine Induktivität und ein Transformator mit einem hohen Induktivitätswert zu nennen. Ebenso kann ein Varistor im keramischen Körper enthalten sein.

Der keramische Körper verfügt insbesondere über mindestens eine elektrische Durchkontaktierung. Eine solche Durchkontaktierung kann sich über mehrere benachbarte Schichten erstrecken und Bestandteil eines komplexen integrierten Schaltkreises sein. Insbesondere eine elektrische Anschlußstelle an der Körperoberfläche beispielsweise in Form eines Löt pads ist über eine Durchkontaktierung mit einem Bauelement im Inneren des Körpers verbunden.

10

Der Körper weist in einer besonderen Ausgestaltung mindestens eine Schicht aus einem Elektrodenmaterial auf. Diese Schicht ist entsprechend der damit verbundenen Funktionen strukturiert und ist insbesondere ein Bestandteil eines passiven Bauelements. Beispielsweise kann auf diese Weise eine Plat-  
tenelektrode für einen Kondensator realisiert sein.

15

Der Körper kann auf einem Metallkörper angeordnet sein, der beispielsweise als Kühlkörper fungiert. Der Körper kann dabei auf dem Kühlkörper aufgeklebt oder aufgelötet sein. Besonders vorteilhaft ist es, wenn der Körper monolithisch (beispielsweise durch einen Sinterprozeß) mit dem Kühlkörper verbunden ist.

20

Das Material eines passiven elektronischen Bauelements, einer Schicht aus Elektrodenmaterial und/oder eines Metallkörpers umfaßt zumindest einen Stoff, der aus der Gruppe Gold, Kupfer, Molybdän, Palladium, Platin, Silber und/oder Wolfram ausgewählt ist. Insbesondere vorteilhaft ist es, wenn das Material aus hoch leitfähigem Gold, Silber oder Kupfer besteht. Legierungen der Metalle wie beispielsweise Silber/Palladium sind ebenfalls denkbar. Darüber hinaus kann ein Halbleiter- und Widerstandsmaterial integriert sein.

30

Als keramisches Material kommt insbesondere niedrig sinternde Glaskeramik in Frage. Die Glaskeramik einer Schicht kann in

35

Form einer zweiphasigen Glasmatrix (Glasphase und Keramik) oder einer kristallinen Glaskeramikmatrix vorliegen.

Das Keramikmaterial einer Schicht richtet sich nach der Funktion, die mit dieser Schicht im keramischen Körper integriert ist. Für die Realisierung einer einfachen elektrischen Zuleitungen durch eine Schicht besteht diese Schicht vorzugsweise aus einem Material mit einer möglichst niedrigen Dielektrizitätskonstante ( $6 \leq \epsilon_r \leq 8$ ). Dadurch wird die Signallaufzeit durch die Zuleitung reduziert, bzw. eine Signalverzögerung vermieden. Mit Hilfe eines solchen Keramikmaterials kann ein Kondensator mit einer niedrigen Kapazität (bis herab zu 10 pF) und einer Induktivität (bis herab zu 10 nH) integriert sein. Ein solches Bauelement eignen sich wegen seines kompakten Aufbaus bis zu Frequenzen von einigen GHz.

Eine mittlere Dielektrizitätskonstante ( $25 \leq \epsilon_r \leq 60$ ) ist für solche Schichten vorteilhaft, mit deren Hilfe eine Mikrowellenresonator- oder Filterstruktur realisiert ist (beispielsweise  $\lambda/4$ -Resonator). Für einen Entkopplungskondensator ist dagegen ein Dielektrikum mit einer relativ hohen Dielektrizitätskonstante von Vorteil ( $\epsilon_r > 500$ ).

Ein keramischer Körper zeichnet sich besonders dann durch eine geringe laterale Toleranz aus, wenn ein erster Schichtstapel mit einer ersten Schichtenfolge und ein zweiter Schichtstapel mit einer zur ersten Schichtenfolge umgekehrten Schichtenfolge übereinander angeordnet sind. Daraus resultiert ein bezüglich der Keramikschichten annähernd symmetrischer Körper mit einer zu den Schichten parallelen Symmetrieebene. Zwischen den beiden Schichtstapel kann eine zusätzliche Schicht angeordnet sein.

Durch die geringe Bauteiletoleranz eines vorgestellten keramischen Körpers und der Vielzahl an elektronischen Bauelementen, die im Volumen des Körpers integriert sein können, eignet sich der Körper insbesondere als Substrat eines möglichst

kleinen, komplexen elektronischen Bauteils (z.B. eines Hochfrequenzmoduls).

5 Zusammengefaßt verbinden sich mit der Erfindung hinsichtlich des keramischen Körpers, der einen monolithischen Mehrschichtaufbau aufweist, und des Verfahrens zur Herstellung des Körpers folgende markante Vorteile:

- 10 • Durch einen mehrstufigen Sinterprozeß gelingt es, das laterale Schwinden des Verbunds der keramischen Grünfolien zu unterdrücken. Daraus resultiert eine sehr geringe Bauteiletoleranz von bis zu 0,1% herab.
- 15 • Es kann ein thermomechanisch optimaler Schichtaufbau aus niedrig und hoch sinternder Keramik unter Berücksichtigung der elektrischen und schaltungstechnischen Maßgaben erreicht werden.
- 20 • Durch die Reduzierung notwendiger Lötkontakte zwischen den passiven Bauelementen einer Schaltung und den hermetischen Schutz der inneren Schaltung kann eine hohe Robustheit und Produktzuverlässigkeit erreicht werden.
- Das Verfahren eignet sich in besonderem Maße zur Herstellung eines keramischen Körpers im Nutzen (multi up) So können sowohl relativ einfache als auch sehr komplexe Körper kostengünstig hergestellt werden.
- 25 • Zudem ergibt sich eine hohe Umweltverträglichkeit durch eine einfache Wiederverwertbarkeit eines keramischen Schaltungsträgers.

30 Anhand eines einfachen Ausführungsbeispiels und der dazugehörigen Figuren wird ein keramischer Körper mit monolithischem Mehrschichtaufbau, der mindestens ein passives elektronisches Bauelement aufweist, und ein Verfahren zu dessen Herstellung vorgestellt. Die Figuren sind schematisch und stellen keine maßstabsgetreuen Abbildungen der bezeichneten Gegenstände  
35 dar.

Figur 1 zeigt einen keramischen Körper im Querschnitt.

Figur 2 zeigt die Abhängigkeit der Schwindung der Keramikmaterialien, aus denen der keramische Körper besteht, von der Temperatur.

5

Figur 3 zeigt das Temperaturprogramm, mit dem der keramische Körper nach dem Entbindern gesintert wird.

Figur 4 zeigt die Wirkung der Temperaturerhöhung auf den keramischen Körper.

10

Figur 5 zeigt ausgehend von der Herstellung einer Grünfolie die wesentlichen Verfahrensschritte zur Herstellung des keramischen Körpers.

15

Figur 6 zeigt einen Keramikgrünfoliennutzen mit einer Lochstruktur.

Figur 7 zeigt einen Ausschnitt aus einem gesinterten Nutzen, bei dem eine Keramikschicht und eine Schicht aus Elektrodenmaterial übereinander angeordnet sind, vor einem Ätzprozeß.

20

Figur 8 zeigt einen Ausschnitt aus einem gesinterten Nutzen, bei dem eine Keramikschicht und eine Schicht aus Elektrodenmaterial übereinander angeordnet sind, nach einem Ätzprozeß.

25

Gegenstand ist ein vierschichtiges keramisches Mikrowellenmodul 1, das einen monolithischen Mehrschichtaufbau aufweist. Jede Keramikschicht ist etwa 100 µm dick. Die zwei Innenschichten 11 und 12 bestehen aus einer Glaskeramik 101 mit einer Dielektrizitätskonstante von etwa 80. Es weist ein Material der Zusammensetzung  $Ba_{6-3x}Me_{8+2x}Ti_{12}O_{54}$  ( $0 \leq x \leq 1$ ) auf. Me steht für die seltenen Erden Sm, Nd und La. Die Verdichtung des Keramikmaterials dieser Schichten findet zwischen etwa 870 °C und 970°C statt. Die beiden äußeren Keramikschichten 13 und 14 weisen eine Glaskeramik 102 mit einer Dielektrizitätskonstante von etwa 6 auf. Dieses Material ba-

35



siert auf einem Barium-Aluminium-Silikatglas und verdichtet zwischen 720 und 850°C. In Figur 2 ist die Schwindung der Keramikmaterialien 101 und 102 in Form einer relativen Längenänderung in einer Richtung  $\Delta L/L$  als Funktion der Temperatur  
5 gezeigt.

Der Körper 1 ist aus zwei Schichtstapel 111 und 112 aufgebaut. Der Schichtstapel 111 weist in der Richtung 113 eine Schichtenfolge auf. Der Schichtstapel 112 verfügt über die  
10 gleiche Schichtenfolge in der entgegengesetzten Richtung 114. Es liegt ein bezüglich der beiden Keramikmaterialien 101 und 102 annähernd symmetrischer Körper 1 vor mit einer Symmetrieebene, die sich quasi zwischen der Schicht 11 und 12 befindet und parallel zu diesen Schichten ist.

15 Auf der Ober- und Unterseite sowie im Volumen des Körpers befinden sich passive elektronische Bauelemente 15 - 20. Das Material der Bauelemente umfaßt Kupfer. Auf der Oberseite des Körpers sind neben einer Leiterbahn 16 Löt pads 17 angebracht,  
20 mit deren Hilfe ein SMD-Bauteil und ein IC mit dem Körper verbunden werden können. Auf der Unterseite befinden sich neben einer Leiterbahn 16 auch Löt pads 18 zum Auflöten des Körpers auf eine Leiterplatte.

25 Zwischen den inneren Schichten befinden sich Plattenelektroden für Kondensatoren sowie Innleiterstrukturen für Tri-Plate-Resonatoren. Diese Bauelemente werden mit Hilfe einer strukturierten Schicht aus Elektrodenmaterial 20 gebildet. Die Gegenelektroden zu den Kondensatoren und Resonatoren be-  
30 finden sich zwischen den inneren und äußeren Schichten. Daneben verfügt der Körper 1 über eine elektrische Durchkontaktierung 19.

Die Herstellung einer zuvor beschriebenen vierschichtigen keramischen Mikrowellenmoduls 1 erfolgt im Nutzen. Anhand der  
35 Figur 5 sind die wesentlichen Verfahrensschritte sichtbar.

Zunächst wird eine einen organischen Binder enthaltende keramische Grünfolie hergestellt (Prozeß 501). Das keramische Ausgangsmaterial aus Glaskeramik mit der gewünschten Zusammensetzung wird beispielsweise im Mixed-Oxide- oder Sol-Gel-Verfahren hergestellt. Zusammen mit dem organischen Binder und einem Lösungsmittel wird aus dem Ausgangsmaterial ein Schlicker hergestellt, aus dem die Grünfolie gezogen oder gegossen wird. Nach dem Trocknen weisen die Grünfolien eine Schichtdicke von 150  $\mu\text{m}$  auf.

10

Im nächsten Verfahrensschritt 502 werden in der keramischen Grünfolie Löcher durch Stanzen erzeugt. Dies bedeutet für einen  $n \times n$ -Nutzen 61, daß  $n \times n$  identische Löcherkombinationen in der Grünfolie erzeugt werden. Eine Löcherkombinationen enthält je nach Funktionalität der daraus resultierenden Keramikschicht beispielsweise Öffnungen 63, mit denen Durchkontaktierungen 19 hergestellt werden. Durch die Lochstruktur 62 sind die Löcherkombinationen voneinander getrennt (Figur 6).

20 Im nächsten Schritt 503 wird elektrisch leitendes Material im Siebdruckverfahren auf die Grünfolie 61 aufgedruckt. Dazu wird eine kupferhaltige Paste verwendet. Es werden Leiterbahnen von 80  $\mu\text{m}$  und Plattenelektroden aufgetragen.

25 Sofern Öffnungen 63 für eine elektrische Durchkontaktierung 19 vorhanden ist, werden diese im Schablonendruckverfahren mit elektrisch leitendem Material befüllt. Schablonen- und Siebdruck werden mit derselben Vorrichtung durchgeführt.

30 In der darauffolgenden Phase 504 werden die Grünfolien im Nutzen so übereinander gestapelt, daß sich die oben beschriebene Stapelfolge ergibt. Zwischen der Schicht 12 und 13 wird dabei eine strukturierte Metallfolie 20 aus Kupfer angeordnet. Unter einem einachsigen Druck werden die gestapelten Grünfolien zu einem Nutzen eines Verbunds 51 laminiert. Durch  
35 langsame Erhöhung der Temperatur von beispielsweise 2K/min wird der Verbund 51 vom Binder befreit (Figur 5, 505).

Nach der Entbinderung erfolgt das Sintern in zwei Stufen (Figuren 3 und 4). Zunächst wird die Temperatur auf 820°C erhöht (506). Bei dieser Temperatur verdichtet das Keramikmaterial 102 der äußeren Schichten 13 und 14 des Verbundes. Die Temperatur wird so lange gehalten, bis die Verdichtung dieses Keramikmaterials abgeschlossen ist.

In der zweiten Stufe 507 wird die Temperatur auf 950°C erhöht und so lange gehalten, bis das Keramikmaterial 101 der inneren Schichten 11 und 12 verdichtet ist.

Diese Verfahrensschritte werden in einer Matrize durchgeführt, die über die Abmessungen der Nutzen der Grünfolien verfügt. Die Matrize ist aus Siliziumkarbid.

Nach dem Abkühlen können die Mikrowellenmodule durch Auseinanderbrechen des Nutzens entlang der Lochstruktur 62 vereinzelt werden und so für die Weiterverarbeitung verwendet werden.

Bei der Herstellung des keramischen Körpers wird eine entsprechend strukturierte Metallfolie 72 verwendet. Die Strukturierung bzw. das Erzeugen von Öffnungen erfolgt durch Stanzen. Neben der Öffnungen, auf denen die zu integrierenden Funktionalitäten beruhen, wird in der Metallfolie 72 eine Lochstruktur 73 erzeugt, die die Vereinzelung eines fertigen keramischen Körper vereinfacht. Die Lochstruktur 73 ist gegenüber der Lochstruktur 75 einer keramischen Grünfolie 74 seitlich versetzt, so daß beim Übereinanderstapeln der Folien ein Metallsteg 76, der sich zwischen zwei Löchern 77 und 78 einer Metallfolie 72 befindet, und ein Loch 79 einer Grünfolie 74 übereinander zu liegen kommen. In Figur 7 ist ein Ausschnitt aus einem gesinterten Nutzen 71 zu sehen, der aus der übereinander gestapelten Metallfolie 72 und Grünfolie 74 hervorgeht. Die Figur zeigt den Nutzen 71 vor einem Ätzprozeß.

Dort, wo die Metallfolie (Schicht aus Elektrodenmaterial) 72 nicht zu sehen ist, ist die Lochstruktur 73 gepunktet dargestellt.

- 5 Um aus einem derart gesinterten Nutzen 71 die einzelnen Körper (Mikrowellenmodule) zu vereinzeln, braucht man die verbliebenen Metallstege 76 der Metallfolie 72 nur zu entfernen. Dies gelingt beispielsweise durch Ätzen mit Hilfe eines starken Oxidationsmittels, das Kupfer angreift. Auf diese Weise
- 10 entsteht ein Nutzen 81, der nur mehr keramische Stege aufweist. Die einzelnen Körper können wieder durch Brechen vereinzelt werden. In Figur 8 ist der Nutzen 81 dargestellt, der aus dem Nutzen 71 durch einen Ätzprozeß gewonnen wird.
- 15 Die Weiterverarbeitung eines Mikrowellenmoduls, die beispielsweise das Herstellen von Leiterstrukturen und Löt pads und im weiteren Verlauf das Anbringen von SMD-Bauteilen und IC's in Flip-Chip - Technik auf der Oberfläche des Moduls beinhaltet, kann auch vor dem Vereinzeln im Nutzen erfolgen.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines keramischen Körpers (1),  
der einen monolithischen Mehrschichtaufbau aufweist und  
5 mindestens ein passives elektronisches Bauelement (15 -  
20) enthält,

mit den Verfahrensschritten:

- 10 a) Herstellen einer einen Binder enthaltenden Grünfolie,  
b) Übereinanderstapeln mindestens einer Grünfolie, die ein  
Keramikmaterial aufweist, das in einem ersten  
Temperaturintervall verdichtet, und mindestens einer  
Grünfolie, die ein Keramikmaterial aufweist, das in einem  
15 vom ersten Temperaturintervall verschiedenen  
Temperaturintervall verdichtet, zu einem Stapel,  
c) Laminieren des Stapels zu einem Verbund,  
d) Entbindern des Verbunds bei einer erhöhten Temperatur,  
e) Sintern des Verbunds bei einer Temperatur des ersten  
20 Temperaturintervalls, bis das Keramikmaterial, das in  
diesem Temperaturintervall verdichtet, weitgehend  
verdichtet ist, und  
f) Sintern des Verbunds bei einer Temperatur des vom ersten  
Temperaturintervall verschiedenen Temperaturintervalls,  
25 bis das Keramikmaterial, das in dem vom ersten  
Temperaturintervall verschiedenen Temperaturintervall  
verdichtet, weitgehend verdichtet ist.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Übereinanderstapeln,  
30 Laminieren, Entbindern und/oder Sintern in einer Matrice  
erfolgt.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei in einer Grünfolie  
(61) mindestens eine Öffnung (63) erzeugt und die Öffnung  
35 (63) mit einem elektrisch leitenden Material befüllt wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Öffnung (63) durch Stanzen erzeugt wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Öffnung mittels eines Schablonendruckverfahrens befüllt wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei auf einer Oberfläche einer Grünfolie und/oder des Körpers ein elektrisch leitendes Material angebracht wird.
7. Verfahren nach Anspruch 6, wobei das elektrisch leitende Material mittels eines Siebdruckverfahrens angebracht wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei der Stapel auf einem Metallkörper aufgesintert wird.
9. Keramischer Körper (1), der einen monolithischen Mehrschichtaufbau aufweist, enthaltend
  - mindestens ein passives elektronisches Bauelement (15 - 20),
  - mindestens eine Schicht (11, 12) aus einem Keramikmaterial (101), das in einem ersten Temperaturintervall (201) verdichtet und
  - mindestens eine Schicht (13, 14) aus einem Keramikmaterial (102), das in einem vom ersten Temperaturintervall (201) verschiedenen Temperaturintervall (202) verdichtet.
10. Körper nach Anspruch 9, wobei ein Keramikmaterial aus Glaskeramik besteht.
11. Körper nach Anspruch 9 oder 10, wobei mehrere Keramikmaterialien in einem bestimmten Temperaturbereich einen im wesentlichen gleichen thermischen Ausdehnungskoeffizienten aufweisen.

- 12.Körper nach einem der Ansprüche 9 bis 11, wobei ein Schichtstapel (111), der in einer Richtung (113) eine Schichtenfolge, und ein Schichtstapel (112), der die gleiche Schichtenfolge in der entgegengesetzten Richtung (114) aufweist, übereinander angeordnet sind.
- 13.Körper nach einem der Ansprüche 9 bis 12, wobei ein Keramikmaterial (102) im Temperaturintervall zwischen 720°C und 850°C verdichtet.
- 14.Körper nach einem der Ansprüche 9 bis 13, wobei ein Keramikmaterial (101) im Temperaturintervall zwischen 870°C und 970°C verdichtet.
- 15.Körper nach einem der Ansprüche 9 bis 14, wobei der Körper (1) mindestens eine Schicht aus einem Elektrodenmaterial (20) aufweist.
- 16.Körper nach einem der Ansprüche 9 bis 15, wobei der Körper (1) auf einem Metallkörper angeordnet ist.
- 17.Körper nach einem der Ansprüche 9 bis 16, wobei das Bauelement (15 - 19), die Schicht aus einem Elektrodenmaterial (20) und/oder der Metallkörper zumindest einen Stoff aufweist, der aus der Gruppe Gold, Kupfer, Molybdän, Palladium, Platin, Silber und/oder Wolfram ausgewählt ist.
- 18.Verwendung des Körpers nach einem der Ansprüche 9 bis 17 als ein Substrat eines Hochfrequenzmoduls.

## Zusammenfassung

Verfahren zur Herstellung eines keramischen Körpers mit einem integrierten passiven elektronischen Bauelement, derartiger Körper und Verwendung des Körpers

Ein keramischer Körper mit einem monolithischen Mehrschichtaufbau wird in einem mehrstufigen Sinterprozeß erzeugt. Zur Verhinderung der lateralen Schwindung wird der Körper aus Grünfolien aufgebaut, deren Material in unterschiedlichen Temperaturintervallen verdichtet. Das Resultat ist ein Körper mit einer sehr geringen Bauteiletoleranz. Im Volumen des Körpers kann eine Vielzahl unterschiedlicher passiver elektronischer Bauelemente integriert sein. Ein derartiger Körper wird beispielsweise als Substrat eines Mikrowellenmoduls verwendet.

Figur 1